

УДК 551.83 (571.56)

НОВЫЕ ДАННЫЕ О СОСТАВЕ ПЛАГИОКЛАЗА НА ЗАПАДНОМ ФЛАНГЕ ОКТЯБРЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПО ДАННЫМ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Иван Олегович Крылов^{1✉}, Иван Иванович Никулин², Алексей Андреевич Самсонов³, Дмитрий Михайлович Коршунов⁴, Дамир Ильдарович Вильданов⁵

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; ikrylov46@gmail.com ✉

² ООО «Норильскгеология», Санкт-Петербург, Россия; nikulinII@nornik.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; samsonov@geol.msu.ru ✉

⁴ Геологический институт РАН, Москва, Россия; dmit0korsh@gmail.com

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; damwill@yandex.ru

Аннотация. Исследованы плагиоклазы габброидов Хараелакской интрузии на западном фланге Октябрьского месторождения методом инфракрасной спектроскопии. Анализ 130 Фурье ИК-спектров поглощения плагиоклазов указывает на закономерную смену состава в изоморфном ряду от андезина ($1150, 1096 \text{ см}^{-1}$) до анортита ($1142, 1275 \text{ см}^{-1}$) в зависимости от степени дифференциации пород в интрузии. Данные ИК-спектроскопии заверялись контрольными определениями химического состава методом рентгеноспектрального микроанализа. Фурье ИК-спектры указывают на приуроченность андезина к оливинсодержащим и оливиновым габбро-долеритам. Анортит равномерно распространен в габбро-долеритах, но преобладает в лейкократовых габбро. Анализ Фурье ИК-спектров позволил определить в структуре среди примесей железо и калий. В породах, приуроченных непосредственно к интервалам развития рудной вкрапленной минерализации (халькопиритовая, пирротиновая и пентландитовая), среди элементов-примесей в плагиоклазах отмечено Fe^{3+} , регистрируемое в пикривых габбро-долеритах в структуре плагиоклазов по полосам поглощения $1580\text{--}1644 \text{ см}^{-1}$. Совокупность полученных новых данных имеет важное минералогическое значение. Выявленные закономерности распределения регистрируемых элементов-примесей в разрезе рудных и безрудных дифференциатов рекомендуются для применения в практике геологоразведочных работ.

Ключевые слова: инфракрасная спектроскопия, плагиоклазы, Октябрьское месторождение, Норильская металлогеническая провинция

Для цитирования: Крылов И.О., Никулин И.И., Самсонов А.А., Коршунов Д.М., Вильданов Д.И. Новые данные о составе плагиоклаза на западном фланге Октябрьского месторождения по данным инфракрасной спектроскопии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2022. № 2. С. 27–39.

NEW DATA ON THE COMPOSITION OF PLAGIOCLASE ON THE WESTERN FLANK OF THE OKTYABRSKY DEPOSIT ACCORDING TO INFRARED SPECTROSCOPY

Ivan O. Krylov^{1✉}, Ivan I. Nikulin, Alexey A. Samsonov³, Dmitry M. Korshunov⁴, Damir I. Vildanov⁵

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; ikrylov46@gmail.com ✉

² “Norilskgeologiya”, St. Petersburg, Russia; nikulinII@nornik.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; samsonov@geol.msu.ru

⁴ Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; dmit0korsh@gmail.com

⁵ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; damwill@yandex.ru

Abstract. The plagioclases of the Kharaelakh intrusion on the western part of the Oktyabrsky deposit were analyzed by infrared spectroscopy. Analysis of 130 Fourier-IR absorption spectra of plagioclases with selective verification of their chemical composition by X-ray spectral microanalysis indicates a regular change in the isomorphous series from albite ($1150, 1096 \text{ cm}^{-1}$) to anorthite ($1142, 1275 \text{ cm}^{-1}$), depending on the degree of differentiation of rocks in the intrusion. According to Fourier-IR spectroscopy, albite is confined to olivine-containing and olivine gabbro-dolerites. Anorthite is evenly distributed in gabbro-dolerites, but predominates in leucocratic gabbro. Among the impurity elements in the structure of the mineral, Fe^{3+} is noted at peaks of $1580\text{--}1644 \text{ cm}^{-1}$ in picrite gabbro-dolerites, where ore interspersed mineralization of chalcopyrite, pyrrhotite, and pentlandite is directly developed. In addition to iron impurities, aluminum, potassium, barium, and strontium are also characteristic impurities in plagioclases. The totality of the data used in the section of the intrusion increases the indicative value of plagioclases and can be recommended as an additional mineral criterion of ore content.

Keywords: infrared spectroscopy, plagioclases, Oktyabrskoye ore field, Norilsk metallogenic province.

For citation: Krylov I.O., Nikulin I.I., Samsonov A.A., Korshunov D.M., Vildanov D.I. New data on the composition of plagioclase on the western flank of the Oktyabrsky deposit according to infrared spectroscopy data. *Moscow University Geol. Bull.* 2022; 2: 27–39 (In Russ).

Введение. Инфракрасная спектроскопия (ИКС) — один из ведущих методов лабораторного исследования минерального вещества. Экспериментальный результат в ИКС заключается в инфракрасном спектре, который представляет собой функцию зависимости интенсивности пропущенного инфракрасного излучения от частоты. Каждый ИК-спектр индивидуален и может использоваться для идентификации минерала и его кристаллохимических особенностей. Поскольку каждое вещество представлено уникальной комбинацией молекул, теоретически не существует двух соединений с одинаковыми ИК-спектрами, поэтому ИКС позволяет проводить идентификацию веществ разнообразного состава и агрегатного состояния. К преимуществам метода Фурье ИК-спектроскопии также относится оперативность исследования.

Химические элементы-примеси в плагиоклазах характеризуют процессы, произошедшие с магмой во время кристаллизации. Плагиоклазы в различных магматических комплексах Норильского района отличаются составом элементов-примесей, на чем должны базироваться исследования минеральных критериев рудоносности, направленные на усиление локальных геолого-поисковых работ. С целью выявления индикативных особенностей в породах Октябрьского месторождения проведена комплексная ИКС плагиоклазов Хараелахской интрузии с контрольной заверкой методом локального микрорентгеноспектрального анализа.

В результате многочисленных опытных работ по изучению типоморфизма плагиоклазов выявлено увеличение в породе анортитовой составляющей, что отражает накопление элементов плагиоклазовой группы (ЭПГ) и уменьшение количества сульфидов [Годлевский, 1959; Додин, Батуев, 1971; Золотухин и др., 1976]. В других исследованиях выяснено, что платинометальное оруденение сопровождается скачкообразными реверсиями состава плагиоклаза [Рябов, 1974; Рябов и др., 2001; Рябов, 1984]. В случае, когда платинометальная минерализация не сопровождается значительными вариациями состава плагиоклаза в разрезе или маркируется изменением состава интеркумulusной каймы, вероятность образования промышленных скоплений ЭПГ ниже.

Материалы и методы исследования. Внутреннее строение Хараелахского интрузива характеризуется четко выраженной расслоенностью, наиболее проявленной в его центральной и фронтальной частях. Сверху вниз выделяются: верхние контактовые призматически зернистые лейкогаббро, такситовидные, оливинсодержащие и безоливиновые габбро-долериты, оливиновые, пикритовые, сидеронитовые, такситовые и контактовые габбро-долериты [Золотухин и др., 1975]. Для выяснения особенностей состава

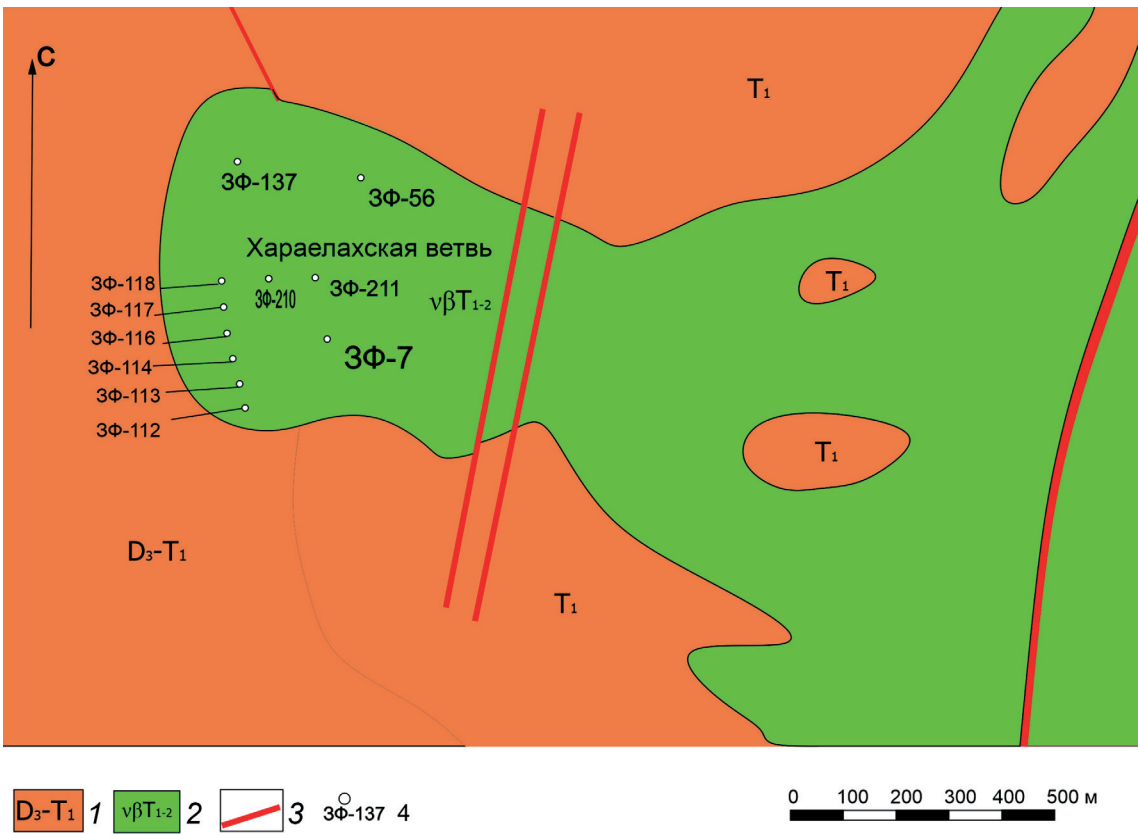
были изучены плагиоклазы из оливинсодержащих, оливиновых, такситовых и пикритовых габбро-долеритов в скважинах 3Ф-7, 3Ф-113, 3Ф-116, 3Ф-137, 3Ф-56, 3Ф-210, 3Ф-211, 3Ф-112, 3Ф-114, 3Ф-117, 3Ф-118, пробуренных на Западном фланге Октябрьского месторождения (рис. 1).

Исследование плагиоклазов выполнено на ИК-Фурье микроскопе Nicolet-380 с ИК-Фурье микроскопом Centaurus (THERMO Scientific, США) и ИК-Фурье спектрометром VERTEX 70 с модулем комбинационного рассеяния RAM II в диапазоне волновых чисел 650–4000 и 400–4000 см⁻¹ соответственно в НИЦ «Курчатовский институт» (ИРЕА). Автоматизированный контроль качества и интерпретацию полученных в ходе исследования данных, а также идентификацию спектров проводили с помощью компьютерной программы OMNIC на основе международной базы данных. Химический состав определяли в зернах микрорентгеноспектральным анализом на приборе JEOL JSM-7100F с приставкой Oxford Instruments X-maxn.

Для изучения минеральных зерен использованы как их мономинеральные образцы, истертые до состояния порошка (аналитической пудры), так и плоскопараллельные пластины толщиной 0,1–0,2 мм. Породообразующие минералы габбро-долеритов разделяли в тяжелых жидкостях (тетрахлорметан с плотностью 1,59 в смеси с хлористым метиленом и чистый хлористый метилен с плотностью 3,33). После получения трех отличающихся по плотности фракций проводили выборку исследуемых зерен под бинокляром с учетом морфологии и целостности кристаллов, а обломки исключали из выборки.

Результаты исследований и их обсуждение. В лейкократовых габбро Хараелахского интрузива плагиоклаз содержится в количестве до 80% от объема породы. Отмечены две генерации плагиоклаза: 1) более ранний (An₇₀) и 2) более поздний (An₈₀), редко встречается An₁₀₀ [Геология..., 2020]. Количество плагиоклаза в безоливиновых и оливинсодержащих габбро-долеритах составляет 50–60%. Крупные кристаллы имеют отчетливое зональное строение, их центральные части нередко замещены сосюрит-пелитовым материалом и пренитом, а каймы альбитизированы. Состав плагиоклаза в породах этой серии изменяется в интервале от An₁₀ до An₇₀, редкие зерна имеют состав до An₈₀. В краевых частях содержание анортитового минерала может понижаться до An_{42–47} [Золотухин и др., 1975; Иванов и др., 1973]. Ниже по разрезу безоливиновые и оливинсодержащие габбро-долериты сменяются оливиновыми габбро-долеритами. Плагиоклаз в этих породах составляет 45–60% от объема породы, состав изменяется в интервале An₄₀–An₇₀. Их подстилают пикритовые и такситовые габбро-долериты. Они распространены только в рудоносных интрузивах

Рис. 1. Геологическая схема Хараелахской интрузии в пределах западного фланга месторождения Октябрьское: 1 — терригенные отложения тунгусской серии; 2 — контуры интрузии; 3 — разломы; 4 — скважины, из которых изучены образцы



норильского типа и представляют собой их важный петрографический признак (рис. 2).

В исследованиях В.В. Рябова с соавторами [Годлевский, 1959; Золотарев, Аплонов, 2014; Леснов, 1991; Наторхин и др., 1977] отмечена положительная корреляция между основностью плагиоклазов и магнезиальностью вмещающих их горных пород, но однозначно она не устанавливается, так как изучение осложняется зональным (2 или 3 зоны) строением кристаллов. Плагиоклазы Хараелахской

интрузии характеризуются прямой зональностью с понижением количества анортитовой составляющей от центральных частей к краевым, что прослеживается и в других норильских интрузиях Норильск I и Талнахской [Золотарев, Аплонов, 2014; Геология ..., 2020] (рис. 3).

Инфракрасные спектры плагиоклазов ранее изучали многие зарубежные авторы [McKeown, 2005; Hecker, 2010; Theodosoglou, 2010]. Фурье ИК-спектры этих минералов имеют типичные по-

Таблица 1

Значения волновых чисел пиков ИКС для различных типов плагиоклазов, по [Matteson, 1993]

| Тип плагиоклаза | Альбит | Олигоклаз | Андезин | Лабрадор | Битовнит | Анортит |
|---------------------------------------|--------|-----------|---------|----------|----------|---------|
| Si-O валентные | 1163 | | | | | |
| | 1144 | 1143 | 1143 | 1145 | 1146 | 1145 |
| | 1098 | 1101 | 1100 | 1095 | 1095 | 1093 |
| Si(Al)-O валентные | 1039 | 1036 | 1036 | | 1021 | 1021 |
| | 1018 | 1013 | 1012 | 995 | 990 | |
| | 996 | | | 952 | 935 | 931 |
| Si-Si валентные | 788 | | 786 | 759 | 756 | 757 |
| | 762 | 755 | 759 | | | |
| Si-(Al)Si валентные | 746 | | | | | |
| | 726 | 729 | 727 | | | 729 |
| Al(Si)-O деформационные | 650 | | | | | |
| | 611 | 640 | 643 | 625 | 624 | 623 |
| | 592 | 590 | 590 | 584 | 583 | 580 |
| O-Si-O деформационные и M-O валентные | 533 | 539 | 538 | 542 | 541 | 541 |
| | 476 | 469 | 470 | | 483 | 484 |
| | 464 | | | | 469 | 469 |
| Si-O-Si деформационные | 428 | 429 | 428 | | | |

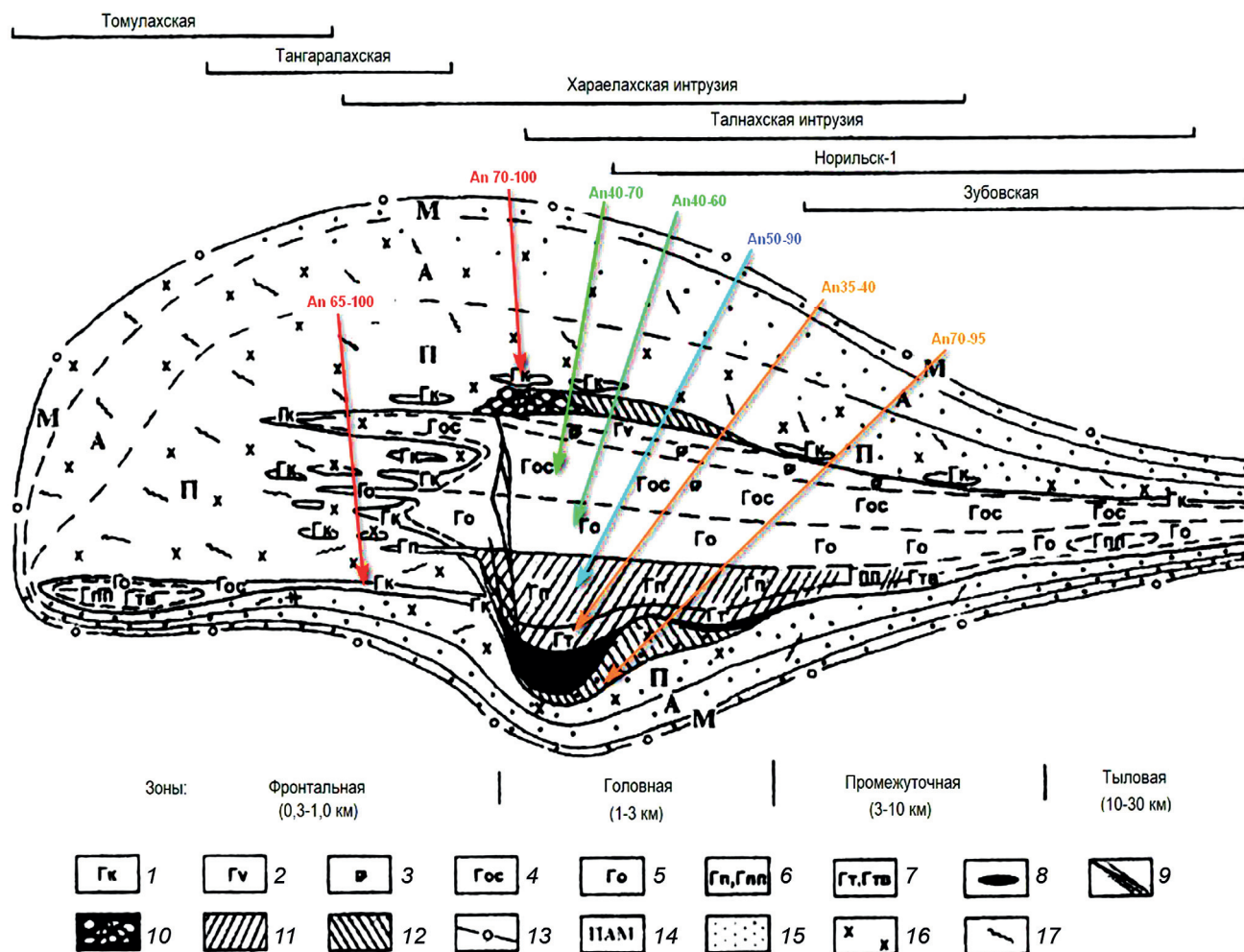


Рис. 2. Изменение типа плагиоклазов рудоносных интрузивов НМП [по Туровцеву, 2002]: интрузивные породы: 1 — контактовые габбро-долериты и долериты, 2 — гибридные метасоматические (кварцевые габбро-долериты до кварцевых габбро-диоритов и диоритов), 3 — габбро-диориты; 4–7 — габбро-долериты: 4 — оливинсодержащие и безоливиновые, 5 — оливиновые, 6 — пикритовые и пикритоподобные, 7 — такситовые, такситовидные; 8–12 — сульфидные руды: 8 — массивные, 9 — прожилковые, 10 — брекчиевидные, 11 — вкрапленные (в интрузивных породах), 12 — прожилково-вкрапленные (в роговиках); 13 — внешний контур ореола ороговирования; 14 — фации ороговированных пород (П — санидинитовая и пироксен-роговиковая, А — рогово-обманково-роговиковая, М — мусковит-роговиковая); 15 — роговики и ороговированные породы; 16 — метасоматиты; 17 — эпitherмальные образования

лосы поглощения в областях 3600–3100, 1200–850, 650–500 см^{-1} [McKeown, 2005]. Особые отличительные параметры — два триплета: один в интервале 1200–850 см^{-1} с наиболее ярко выраженным пиком 1000 см^{-1} , другой — триплет в интервале 650–500 см^{-1} , где наиболее характерный пик — 580 см^{-1} (рис. 4, табл. 1). В табл. 2 приведены положения пиков плагиоклазов изученных образцов.

Вариации химического состава плагиоклазов на ИК-спектрах отражены в ширине и интенсивности полос поглощения (рис. 5–7). К характеристическим относятся полосы А в области частот $\nu_1 = 650\div 600 \text{ см}^{-1}$ и $\nu_2 = 550\div 500 \text{ см}^{-1}$. Здесь волновое число меняется от 649 см^{-1} (в альбите для температуры плавления от 1100 °C) до 620 см^{-1} (в анортите в низкотемпературной серии до 1550 °C). Индикативные пики поглощения плагиоклазов из пикритовых и такситовых габбро-долеритов Хараелахской интрузии находятся в диапазонах 500–650 и 850–1200 см^{-1}

(рис. 5). Состав плагиоклазов варьирует от лабрадора (диагностируется по пикам 950, 970, 1000 см^{-1}) до битовнит-анортита (диагностируется по пикам 1015, 1025 см^{-1}). Диапазон индикативных значений пиков в оливиновых и оливинсодержащих габбро-долеритах смещается в областях 450–650 и 850–1200 см^{-1} (рис. 6). Плагиоклазы имеют вариации состава в диапазоне от андезина (пики 920, 940, 980 см^{-1}) до битовнита (1000, 1020, 1080 см^{-1}). Индикативные пики поглощения плагиоклазов в контактовых и лейкократовых габбро-долеритах находятся в диапазонах 500–630 и 900–1200 см^{-1} (рис. 7). Состав плагиоклаза варьирует в пределах состава, отвечающего лабрадору (преимущественно в контактовых породах) и битовниту (в лейкократовых разновидностях). Они диагностируются по пикам 980, 940, 1000, 980 (лабрадор), 1020, 1080 см^{-1} (битовнит).

Как показали предыдущие исследования полевых шпатов методом ИКС [McKeown, 2005; Hecker,

Таблица 2

Значения волновых чисел пиков различных типов плагиоклазов Хараелакской интрузии

| Номер образца | Порода | Состав плагиоклаза | Полоса поглощения № 1, см ⁻¹ | Полоса поглощения № 2, см ⁻¹ | Полоса поглощения № 3, см ⁻¹ |
|---------------|---------------------------------|--------------------|---|---|---|
| ЗФ210-4.3.1 | Габбро-долерит | андезин | 3437 | 1013 | 586 |
| ЗФ210.4.3.2 | Пикритовый габбро-долерит | | андезин | 3434 | 1010 |
| ЗФ 210.4.3.3 | | андезин | | 3431 | 970 |
| ЗФ210-4.3.5 | | андезин-лабрадор | 3434 | 1019 | 574 |
| ЗФ7-431.9 | | битовнит | 3438 | 1020 | 577 |
| ЗФ210-4.3.6 | | | 3432 | 1035 | 574 |
| ЗФ210-4.2.1 | | | 3437 | 1100 | 539 |
| ЗФ 116-3 | | анортит | 3500 | 1020 | 593 |
| ЗФ21-4.2.4 | | | 3637 | 1024 | 497 |
| ЗФ210-4.2.6 | | | 3153 | 1015 | 401 |
| ЗФ210-4.4 | | андезин-лабрадор | 3485 | 1010 | 539 |
| ЗФ210.4.5 | | андезин | 3582 | 990 | 528 |
| ЗФ211.4.1 | Оливиновый габбро-долерит | андезин | 3600 | 989 | 544 |
| ЗФ 211-4.1.2 | | андезин-лабрадор | 3563 | 980 | 585 |
| ЗФ211-4.1.3 | | | 3598 | 1000 | 600 |
| ЗФ211-4.1.4 | | лабрадор | 3582 | 1010 | 630 |
| ЗФ210-3.1.1 | Оливинсодержащий габбро-долерит | андезин-лабрадор | 3562 | 1015 | 589 |
| ЗФ210-3.1.2 | | андезин-олигоклаз | 3574 | 1000 | 590 |
| ЗФ210-3.1.3 | | битовнит-анортит | 3000 | 1000 | 574 |
| ЗФ210-3.1.4 | | андезин-лабрадор | 3062 | 1100 | 565 |
| ЗФ210-3.1.5 | | анортит | 3031 | 1115 | 593 |
| ЗФ211-2.1.1 | анортит | | 3534 | 1200 | 539 |
| ЗФ211.2.1.2 | | 3438 | 1026 | 584 | |
| ЗФ211-2.1.4 | Оливиновый габбро-долерит | андезин-лабрадор | 3437 | 1062 | 546 |
| ЗФ211.2.1.5 | | андезин | 3370 | 1010 | 512 |
| ЗФ211-1.1.1 | | олигоклаз | 3428 | 997 | 520 |
| ЗФ211-1.1.2 | | андезин-лабрадор | 3031 | 1005 | 550 |
| ЗФ211-1.1.3 | | лабрадор | 3534 | 1000 | 537 |
| ЗФ211-1.1.4 | 3438 | | 1030 | 580 | |
| ЗФ211-1.1.6 | лабрадор-битовнит | 3500 | 1030 | 540 | |
| ЗФ210-5.1 | Контактовый габбро-долерит | лабрадор | 3537 | 1011 | 530 |
| ЗФ210-5.5.1 | | андезин-лабрадор | 3546 | 1009 | 550 |
| ЗФ210-5.3 | | лабрадор | 3300 | 1000 | 520 |
| ЗФ210-5.4 | | андезин-лабрадор | 3538 | 1000 | 512 |
| ЗФ210-5.5 | | лабрадор | 3431 | 1008 | 524 |
| ЗФ 211-3.1 | Лейкократовое габбро | битовнит | 3582 | 1100 | 530 |
| ЗФ 211-3.2 | | битовнит-анортит | 3562 | 1147 | 532 |
| ЗФ 211-3.3 | | | 3300 | 1130 | 574 |
| ЗФ 211-3.4 | | | 3200 | 1120 | 582 |
| ЗФ 211-3.6 | | | 3400 | 1011 | 600 |



Рис. 3. Химический состав плагиоклазов из различных интрузий Талнахского рудного узла по результатам классического химического анализа, по [Золотарев, Аплонов, 2014]

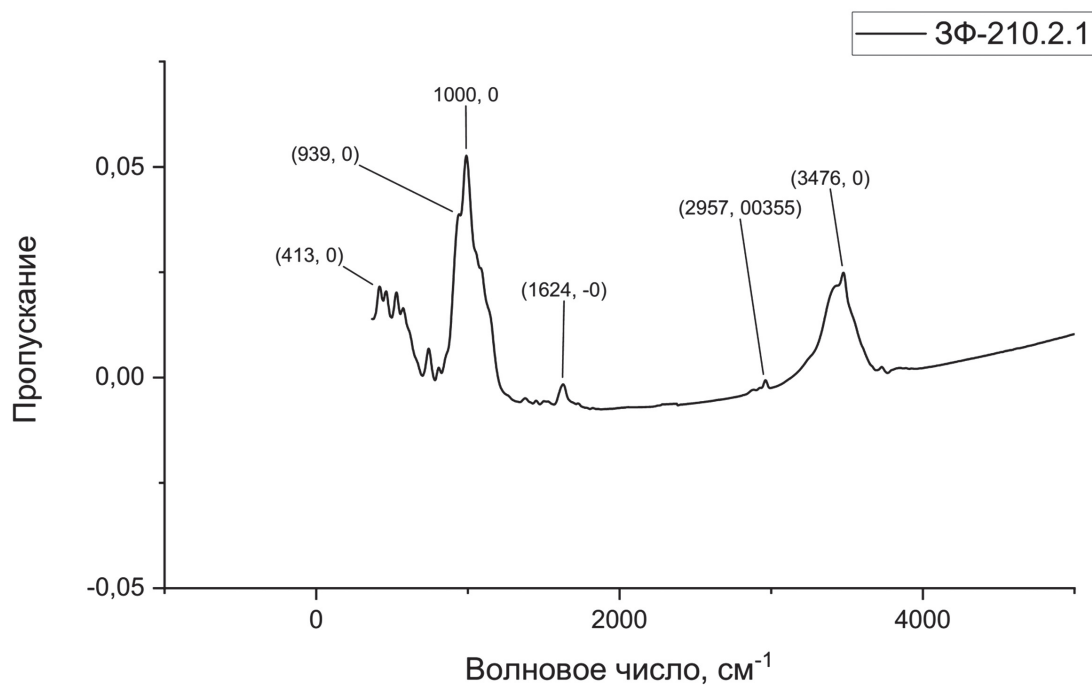


Рис. 4. Типичный спектр плагиоклаза (An^{53} , по данным МРСА) из габбро-долеритов Хараелахской интрузии

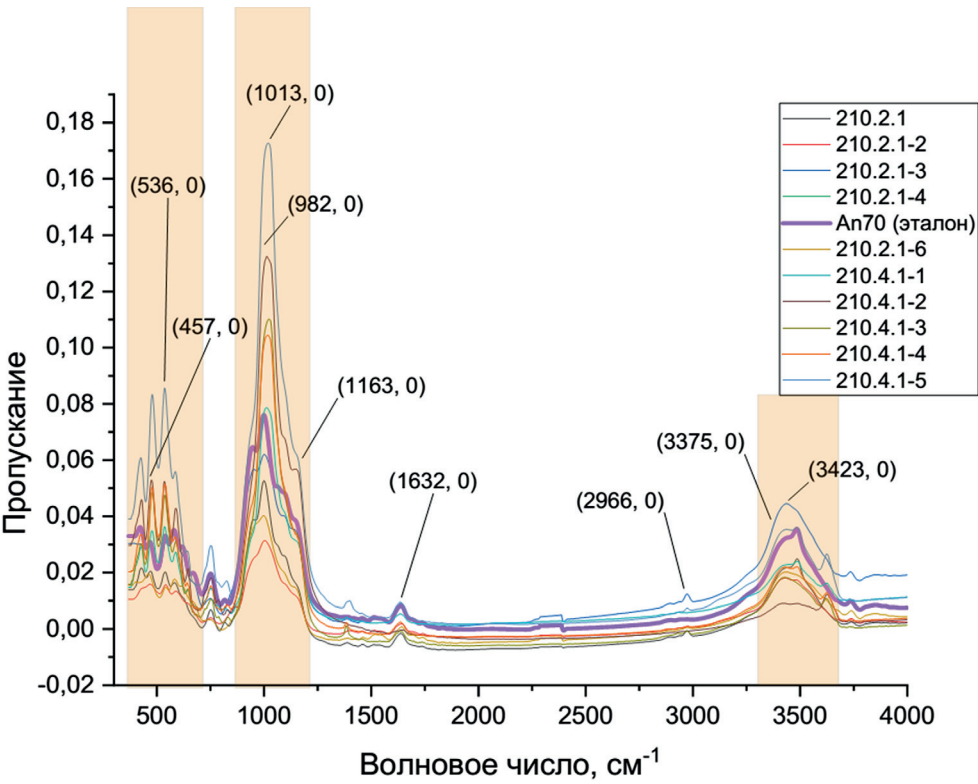


Рис. 5. Фурье ИК-спектры поглощения плагиоклазов в пикритовых и такситовых габбро-долеритах Хараелахской интрузии

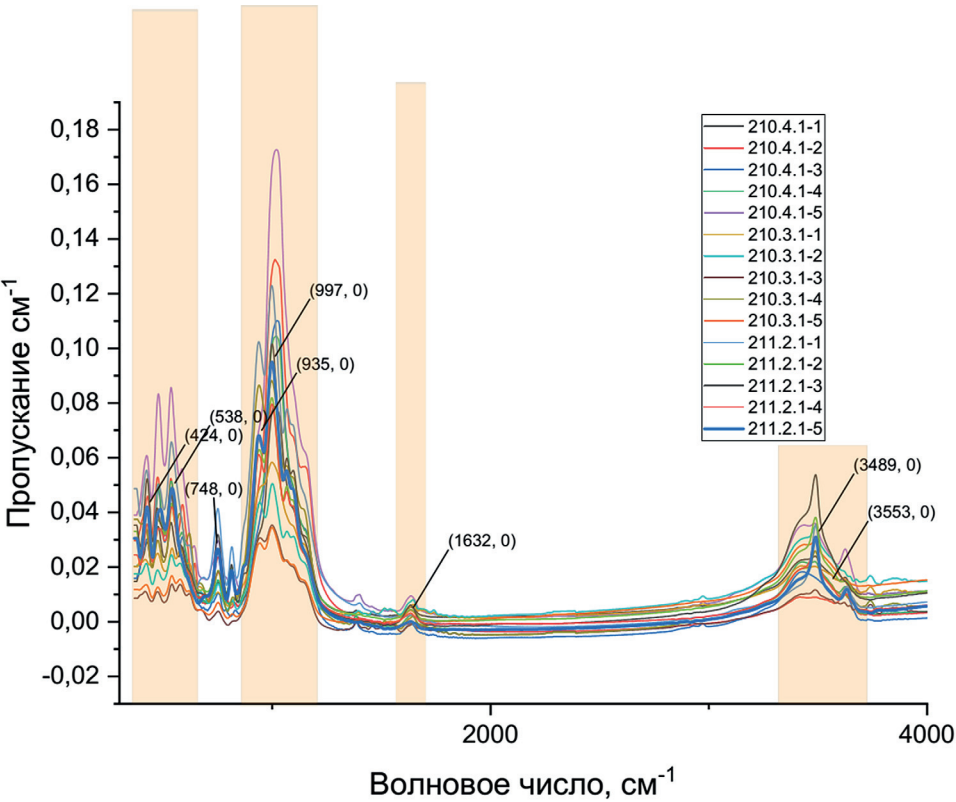


Рис. 6. Фурье ИК-спектры поглощения плагиоклазов в оливиновых и оливинсодержащих габбро-долеритах Хараелахской интрузии

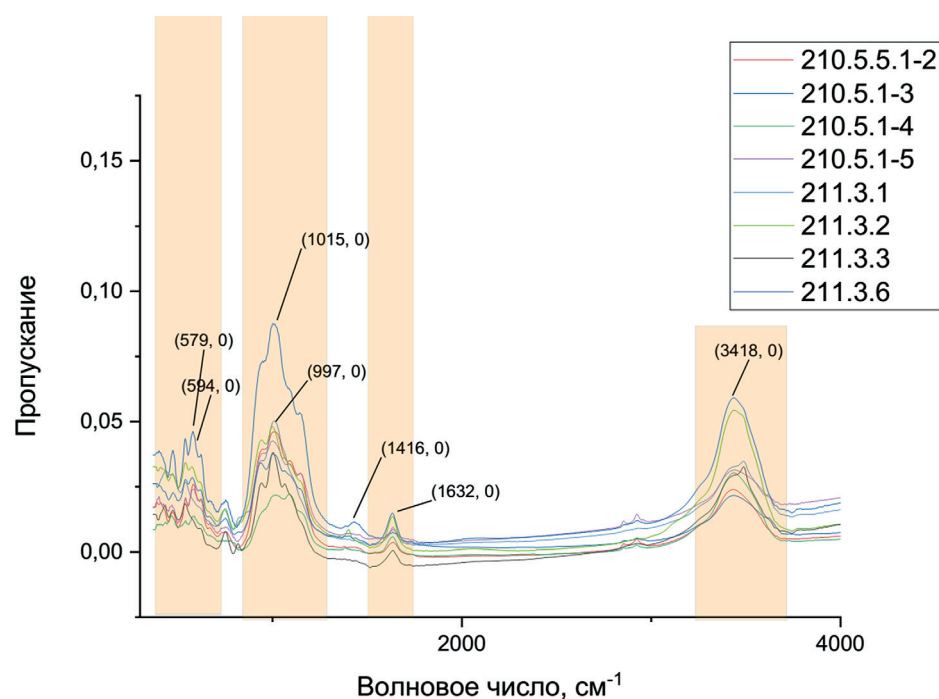


Рис. 7. Фурье ИК-спектры поглощения плагиоклазов в контактовых и лейкократовых габбро Хараелахской интрузии

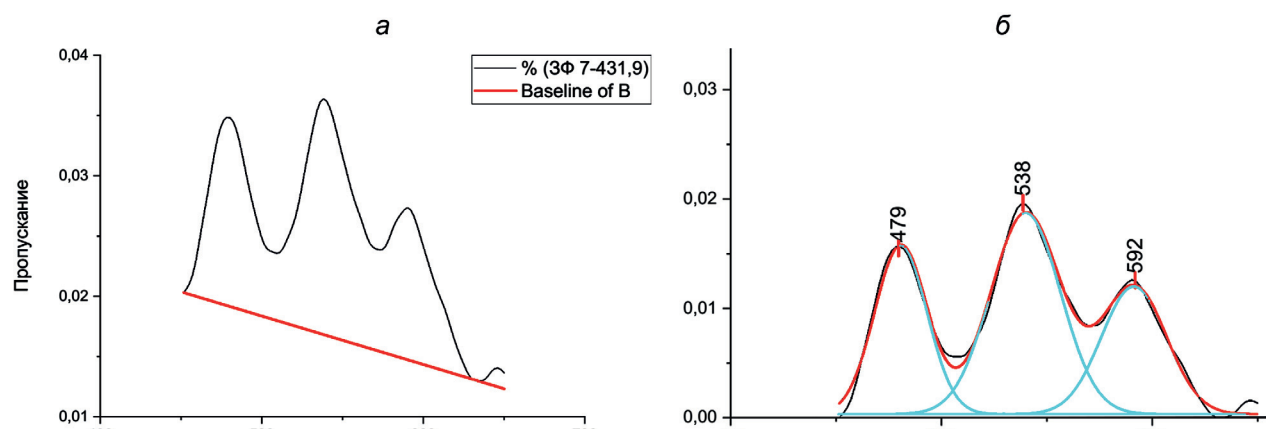


Рис. 8. Фрагмент Фурье ИК-спектров в диапазоне 1050–965 см^{-1} : а — фрагмент спектра с базовой нулевой линией; б — разложение спектра на составляющие

2010], эта группа минералов очень чувствительна к наличию элементов-примесей, что отражается на ИКС и подтверждается на изученных образцах плагиоклазов. Наличие элементов-примесей в кристаллической решетке смещает спектры в сторону спектров других веществ пропорционально их примесям. Значительно влияют на спектр также микровключения других минералов (оливина, пироксена, магнетита) в плагиоклазе. В некоторых случаях, когда содержание примесных минералов ≥ 10 вес.%, спектр может стать не читаем.

Согласно данным, приведенным в работе [Смирнов, 1966], в большинстве образцов из различных дифференциатов норильских интрузий выделяются две генерации плагиоклаза: ранняя — более основная и поздняя — более кислая, что подтверждается полученными данными ИКС. В плагиоклазах из лейкократовых габбро (образцы из скважин № 3Ф7, 13Ф-13, 3Ф-210) к ранней генерации относятся плагиоклазы состава An_{50-80} . К более поздней генерации относятся плагиоклазы An_{40-50} . Систематические

исследования позволяют определить закономерность развития тех или иных типов плагиоклазов в дифференциатах Хараелахской интрузии (табл. 2). В габбро-долеритах наблюдается ряд от олигоклаза до лабрадора, в пикритовых габбро-долеритах — преимущественно андезин и реже анортит, в габбро-долеритах с оливином до 20% андезина — лабрадора.

Почти во всех изученных разновидностях плагиоклазов присутствуют волновые числа в диапазоне 3400–3000 см^{-1} , отвечающие наличию группы OH^- в кристаллической решетке. Наиболее точное определение анортитового компонента в плагиоклазе осуществляется в спектрах, снятых по мономинеральным порошкам. В диапазоне 1050–965 см^{-1} изменяется интенсивность пика в зависимости от содержания анортитового компонента. Для повышения точности (с целью полуколичественного анализа) рассчитаны площади фигур, ограниченных профилем спектра и базовой линией. Для этого фрагмент спектра в указанном интервале был проинтегрирован и приведен к нулевой линии, а затем

разложен на составляющие (рис. 8). Отдельно взятые полосы проинтегрированы и рассчитана суммарная площадь фигуры, образованной спектром и базовой линией. Увеличение площади пика поглощения прямо пропорционально увеличению анортитового компонента (табл. 3).

Таблица 3

Взаимоотношение площади фигуры под пиком и количества анортитового компонента в плагиоклазах

| Образец | Интеграл | Площадь | An |
|------------|----------|---------|----|
| 3Ф 116.2.1 | 9,08 | 0,03612 | 50 |
| 3Ф 210.2.2 | 5,507 | 0,02191 | 47 |
| 3Ф 116.2.3 | 11,12 | 0,04426 | 64 |
| 3Ф-116.2.4 | 12,39 | 0,04928 | 77 |
| 3Ф7-431.9 | 14,57 | 0,05791 | 80 |
| 3Ф116.2.6 | 7,561 | 0,03007 | 57 |
| 3Ф 137-1 | 7,37 | 0,02931 | 49 |

Наиболее характерны в структуре плагиоклазов К, Fe, встречаются также В и редкоземельные элементы (REE) [Леснов, 1991]. Содержание главных и второстепенных химических элементов в плагиоклазах определяет зависимость содержания тех или иных компонентов в сосуществующих с ними минералах. Так, содержание Са в плагиоклазе прямо пропорционально его количеству и количеству Mg в сосуществующем с ним клинопироксене, а содержание Fe в клинопироксене имеет отрицательную зависимость с содержанием Са в плагиоклазах [Золотухин, 1991]. Калий может находиться в плагиоклазе как в виде равномерно распределенной изоморфной примеси, так и в составе самостоятельной фазы калиевого полевого шпата, образующей субмикроскопические включения, диагностируемые с помощью микрозондового анализа. Содержание K₂O в плагиоклазах может достигать 2,5 масс.%. По данным микрозондового анализа, выполненного нами, среди пород Норильских интрузий максимальное содержание K₂O достигает 3,2 масс.% (табл. 4).

Так как ИКС весьма чувствителен к изменениям и деформациям кристаллических решеток, пики поглощения на спектрах меняют волновые числа на большую или меньшую частоту. Степень концентрации FeO в плагиоклазах имеет одно из важнейших значений как индикатора рудоносности и варьирует от 0,35 до 1,5 масс.%. В ИК-спектрах нами диагностирован FeO в плагиоклазах по волновым числам 3300–4000 см⁻¹ в пиках поглощения (рис. 9).

Данные микрозондовых исследований, проведенных на примере плагиоклазов трапповых мало-глубинных интрузивов, показали, что количество примеси Fe³⁺ в плагиоклазах имеет тенденцию к возрастанию по мере уменьшения глубины кристаллизации пород [Леснов, 1991]. В разрезе Хараелахской интрузии по содержанию примеси Fe³⁺ выявлена вертикальная зональность: в нижних дифференциатах (пикритовые габбро-долериты) содержание Fe³⁺ в плагиоклазах повышено, а в верхних дифференци-

Таблица 4

Результаты исследований плагиоклазов пород Хараелахской интрузии методом МРСА

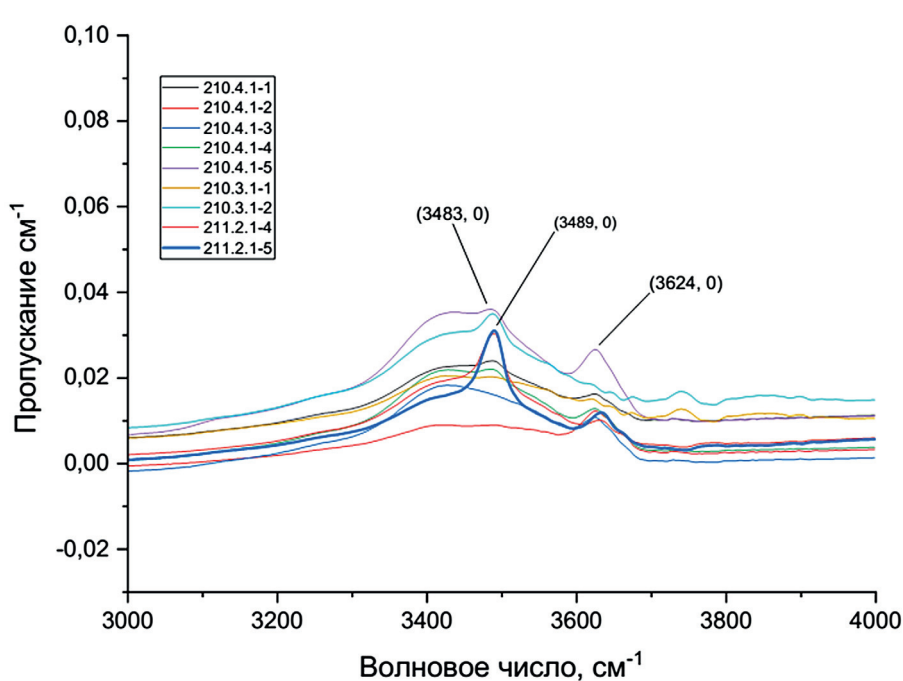
| Номер образца | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Сумма |
|---------------|------------------|--------------------------------|------|-------|-------------------|------------------|--------|
| 3Ф7 (1-6) | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,01 | – |
| | 68,89 | 19,66 | 0,00 | 0,07 | 11,16 | 0,28 | 100,06 |
| | 52,49 | 28,97 | 0,70 | 12,94 | 4,26 | 0,21 | 99,57 |
| | 52,97 | 29,51 | 0,73 | 12,54 | 4,03 | 0,34 | 100,12 |
| | 52,16 | 28,84 | 0,72 | 12,93 | 4,18 | 0,20 | 99,03 |
| | 52,35 | 28,99 | 0,71 | 12,90 | 4,45 | 0,22 | 99,62 |
| 3Ф-56 (1–4) | 54,52 | 28,01 | 0,59 | 10,64 | 5,59 | 0,64 | 99,99 |
| | 55,54 | 27,03 | 0,98 | 9,34 | 6,10 | 0,69 | 99,67 |
| | 54,91 | 26,59 | 0,67 | 10,40 | 6,39 | 0,37 | 99,34 |
| | 54,27 | 27,93 | 0,70 | 11,51 | 5,64 | 0,32 | 100,36 |
| 3Ф210 (1–10) | 58,25 | 25,51 | 0,57 | 8,88 | 6,39 | 0,41 | 100,01 |
| | 52,06 | 29,36 | 0,66 | 13,36 | 4,21 | 0,14 | 99,78 |
| | 51,58 | 3,35 | 3,83 | 19,65 | 0,27 | – | 78,68 |
| | 52,11 | 29,09 | 0,87 | 12,95 | 4,65 | 0,14 | 99,81 |
| | 54,03 | 27,81 | 0,79 | 11,73 | 5,59 | 0,19 | 100,14 |
| | 52,57 | 29,12 | 0,70 | 12,95 | 4,69 | 0,21 | 100,24 |
| | 49,89 | 31,00 | 0,37 | 14,95 | 3,14 | 0,10 | 99,45 |
| | 48,14 | 32,04 | 0,41 | 16,20 | 2,59 | 0,07 | 99,44 |
| | 54,62 | 27,44 | 0,64 | 11,21 | 5,77 | 0,26 | 99,93 |
| | 55,56 | 27,03 | 0,66 | 10,45 | 6,40 | 0,31 | 100,41 |
| 3Ф-211 (1–4) | 53,47 | 28,59 | 0,65 | 12,46 | 5,09 | 0,19 | 100,45 |
| | 55,62 | 26,95 | 0,61 | 10,57 | 6,37 | 0,28 | 100,40 |
| | 53,48 | 28,37 | 0,68 | 12,29 | 5,16 | 0,20 | 100,17 |
| | 48,01 | 32,42 | 0,39 | 16,55 | 2,37 | 0,07 | 99,81 |
| 3Ф-112 (1–4) | 51,17 | 30,14 | 0,35 | 13,44 | 4,19 | 0,36 | 99,66 |
| | 52,19 | 30,05 | 0,35 | 12,60 | 4,21 | 0,37 | 99,77 |
| | 52,54 | 29,20 | 0,22 | 12,45 | 4,88 | 0,31 | 99,60 |
| | 51,27 | 30,42 | 0,34 | 13,76 | 3,61 | 0,30 | 99,69 |
| 3Ф-114 (1–10) | 52,95 | 28,85 | 0,64 | 12,89 | 4,36 | 0,16 | 99,84 |
| | 54,00 | 27,92 | 0,73 | 11,71 | 4,98 | 0,21 | 99,55 |
| | 53,33 | 28,46 | 0,72 | 12,33 | 4,70 | 0,18 | 99,72 |
| | 52,73 | 29,05 | 0,62 | 13,06 | 4,27 | 0,17 | 99,90 |
| | 51,86 | 29,66 | 0,56 | 13,86 | 3,84 | 0,12 | 99,90 |
| | 50,05 | 30,48 | 0,48 | 14,87 | 3,25 | 0,09 | 99,22 |
| | 50,45 | 30,59 | 0,50 | 14,66 | 3,19 | 0,10 | 99,50 |
| | 47,87 | 32,17 | 0,45 | 16,40 | 2,21 | 0,07 | 99,17 |
| | 50,74 | 30,67 | 0,54 | 14,85 | 3,24 | 0,10 | 100,13 |
| | 50,95 | 30,79 | 0,51 | 14,83 | 2,45 | 0,11 | 99,63 |
| 3Ф-117 (1–4) | 47,30 | 32,74 | 0,48 | 16,49 | 2,13 | 0,07 | 99,21 |
| | 48,51 | 32,03 | 0,42 | 16,21 | 2,48 | 0,07 | 99,72 |
| | 55,18 | 27,02 | 0,65 | 10,68 | 5,65 | 0,30 | 99,48 |
| | 49,77 | 30,60 | 0,44 | 14,98 | 3,24 | 0,11 | 99,12 |

Окончание табл. 4

| Номер образца | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Сумма |
|-------------------|------------------|--------------------------------|------|-------|-------------------|------------------|--------|
| 3Ф-118 (1–8) | 55,59 | 27,27 | 0,66 | 10,34 | 5,57 | 0,30 | 99,72 |
| | 50,16 | 29,69 | 0,59 | 15,01 | 3,38 | 0,23 | 99,05 |
| | 54,78 | 27,38 | 0,64 | 11,16 | 5,36 | 0,26 | 99,58 |
| | 51,57 | 29,92 | 0,57 | 13,40 | 4,14 | 0,14 | 99,73 |
| | 50,64 | 30,61 | 0,38 | 14,71 | 3,38 | 0,11 | 99,83 |
| | 50,60 | 30,69 | 0,40 | 14,64 | 3,44 | 0,10 | 99,87 |
| | 54,88 | 27,75 | 0,64 | 11,25 | 5,39 | 0,26 | 100,18 |
| | 54,75 | 27,64 | 0,62 | 11,09 | 5,45 | 0,25 | 99,81 |
| 3Ф-117 (1–6) | 48,19 | 32,19 | 0,40 | 16,46 | 2,37 | 0,06 | 99,68 |
| | 47,91 | 32,20 | 0,43 | 16,55 | 2,22 | 0,06 | 99,37 |
| | 47,94 | 32,10 | 0,43 | 16,45 | 2,24 | 0,07 | 99,23 |
| | 52,70 | 29,13 | 0,57 | 12,90 | 4,30 | 0,29 | 99,89 |
| | 52,63 | 28,92 | 0,57 | 12,84 | 4,40 | 0,26 | 99,62 |
| | 52,52 | 29,14 | 0,47 | 13,00 | 4,22 | 0,29 | 99,63 |
| 3Ф137-5 (1–7) | 49,81 | 30,62 | 0,64 | 14,41 | 3,59 | 0,14 | 99,21 |
| | 49,78 | 30,55 | 0,56 | 14,66 | 3,40 | 0,10 | 99,06 |
| | 52,94 | 28,43 | 0,71 | 11,98 | 4,77 | 0,21 | 99,03 |
| | 53,92 | 27,90 | 0,71 | 11,28 | 5,55 | 0,25 | 99,61 |
| | 54,33 | 27,30 | 0,68 | 10,88 | 5,54 | 0,28 | 99,01 |
| | 54,23 | 28,05 | 0,69 | 11,25 | 5,23 | 0,26 | 99,72 |
| 3Ф137-4 (1–6) | 52,85 | 28,49 | 0,71 | 11,96 | 4,76 | 0,22 | 99,00 |
| | 52,68 | 28,33 | 0,79 | 12,03 | 5,07 | 0,20 | 99,09 |
| | 53,30 | 27,96 | 0,78 | 11,66 | 5,21 | 0,22 | 99,13 |
| | 48,29 | 31,73 | 0,61 | 15,85 | 2,69 | 0,09 | 99,26 |
| | 54,49 | 27,57 | 0,75 | 11,03 | 5,62 | 0,25 | 99,70 |
| | 52,97 | 28,11 | 0,75 | 11,82 | 5,17 | 0,21 | 99,04 |
| 3Ф116-4 (1–6) | 50,08 | 30,46 | 0,62 | 14,44 | 3,51 | 0,13 | 99,24 |
| | 54,12 | 27,71 | 0,68 | 10,81 | 5,50 | 0,25 | 99,07 |
| | 54,30 | 27,44 | 0,71 | 10,79 | 5,53 | 0,24 | 99,02 |
| | 54,26 | 27,64 | 0,67 | 10,90 | 5,34 | 0,25 | 99,05 |
| | 54,09 | 27,67 | 0,68 | 10,89 | 5,53 | 0,26 | 99,12 |
| | 54,00 | 27,61 | 0,62 | 10,97 | 5,63 | 0,24 | 99,07 |
| 3Ф116-10 (1,2) | 54,22 | 27,36 | 0,64 | 10,83 | 5,82 | 0,24 | 99,11 |
| | 50,01 | 30,85 | 0,68 | 14,35 | 3,41 | 0,18 | 99,48 |
| 3Ф116-13 (1–6) | 49,34 | 30,92 | 0,76 | 14,61 | 3,27 | 0,16 | 99,06 |
| | 54,29 | 27,56 | 0,66 | 11,04 | 5,54 | 0,48 | 99,56 |
| | 54,29 | 27,62 | 0,67 | 11,01 | 5,12 | 0,47 | 99,18 |
| | 54,46 | 27,73 | 0,65 | 10,94 | 5,49 | 0,50 | 99,76 |
| | 53,14 | 28,07 | 0,74 | 11,83 | 5,04 | 0,43 | 99,25 |
| | 52,64 | 28,41 | 0,79 | 11,92 | 5,03 | 0,33 | 99,12 |
| 3Ф116-13 (1–6) | 53,81 | 28,73 | 0,77 | 11,81 | 4,72 | 0,35 | 100,19 |
| | 53,81 | 28,73 | 0,77 | 11,81 | 4,72 | 0,35 | 100,19 |

| Номер образца | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Сумма |
|------------------|------------------|--------------------------------|------|-------|-------------------|------------------|--------|
| 3Ф116-12 | 55,73 | 27,20 | 0,53 | 9,83 | 5,83 | 0,39 | 99,51 |
| | 55,18 | 27,27 | 0,53 | 10,23 | 5,54 | 0,34 | 99,09 |
| | 55,31 | 27,16 | 0,58 | 9,80 | 5,97 | 0,40 | 99,23 |
| | 55,32 | 27,12 | 0,57 | 9,86 | 6,27 | 0,40 | 99,54 |
| | 54,64 | 27,45 | 0,53 | 10,25 | 5,80 | 0,37 | 99,03 |
| | 54,64 | 27,45 | 0,53 | 10,25 | 5,80 | 0,37 | 99,03 |
| 3Ф116-2 | 47,45 | 32,45 | 0,63 | 16,42 | 2,37 | 0,07 | 99,37 |
| | 48,19 | 31,60 | 0,69 | 15,57 | 2,91 | 0,09 | 99,04 |
| | 53,06 | 29,08 | 0,66 | 12,16 | 4,49 | 0,20 | 99,66 |
| | 52,86 | 28,73 | 0,69 | 11,87 | 4,91 | 0,20 | 99,27 |
| 3Ф116-15 | 51,47 | 29,44 | 0,78 | 12,97 | 4,44 | 0,23 | 99,32 |
| | 51,38 | 29,31 | 0,79 | 12,88 | 4,43 | 0,23 | 99,02 |
| | 49,50 | 30,87 | 0,85 | 14,60 | 3,44 | 0,15 | 99,40 |
| | 50,71 | 30,29 | 0,85 | 13,85 | 3,87 | 0,18 | 99,75 |
| 3Ф116-8 | 50,39 | 30,17 | 0,56 | 13,95 | 3,76 | 0,23 | 99,07 |
| | 54,19 | 27,43 | 0,66 | 10,48 | 5,99 | 0,34 | 99,08 |
| | 61,00 | 24,08 | 0,32 | 5,92 | 8,72 | 0,65 | 100,67 |
| | 60,02 | 24,71 | 0,34 | 6,74 | 8,17 | 0,55 | 100,53 |
| - | 59,69 | 24,72 | 0,37 | 6,84 | 7,78 | 0,53 | 99,92 |
| 3Ф137-2 | 68,53 | 19,65 | 0,01 | 0,01 | 11,51 | 0,02 | 99,71 |
| | 49,22 | 31,54 | 0,80 | 14,98 | 3,08 | 0,12 | 99,74 |
| | 48,87 | 31,46 | 0,64 | 14,87 | 3,15 | 0,12 | 99,11 |
| | 51,27 | 30,52 | 0,66 | 13,48 | 3,99 | 0,13 | 100,05 |
| 3Ф137-3 | 51,25 | 29,88 | 0,75 | 13,23 | 4,15 | 0,15 | 99,40 |
| | 55,00 | 27,68 | 0,61 | 10,39 | 5,63 | 0,26 | 99,57 |
| | 54,67 | 27,59 | 0,66 | 10,63 | 5,59 | 0,24 | 99,37 |
| | 56,23 | 27,61 | 0,62 | 10,20 | 5,67 | 0,26 | 100,58 |
| 3Ф116-6 | 55,74 | 27,50 | 0,64 | 10,38 | 5,59 | 0,26 | 100,10 |
| | 55,41 | 27,69 | 0,66 | 10,63 | 5,43 | 0,25 | 100,06 |
| | 48,29 | 32,32 | 0,51 | 15,57 | 2,47 | 0,11 | 99,27 |
| | 48,15 | 32,62 | 0,56 | 16,13 | 2,26 | 0,11 | 99,82 |
| 3Ф116-9 | 46,63 | 33,59 | 0,52 | 17,25 | 1,76 | 0,08 | 99,83 |
| | 47,09 | 33,28 | 0,52 | 16,89 | 1,91 | 0,08 | 99,77 |
| | 47,17 | 33,15 | 0,53 | 16,87 | 2,03 | 0,10 | 99,84 |
| | 47,27 | 33,07 | 0,54 | 16,70 | 2,05 | 0,09 | 99,71 |
| | 50,27 | 30,61 | 0,60 | 14,09 | 3,57 | 0,18 | 99,32 |
| | 46,86 | 33,24 | 0,43 | 17,10 | 1,80 | 0,09 | 99,51 |
| 3Ф116-11 | 49,72 | 30,77 | 0,74 | 14,45 | 3,35 | 0,17 | 99,19 |
| | 49,41 | 30,85 | 0,94 | 14,92 | 3,21 | 0,23 | 99,56 |
| | 50,32 | 31,00 | 0,74 | 14,44 | 3,32 | 0,16 | 99,98 |
| 3Ф116-5 | 47,10 | 33,08 | 0,77 | 16,68 | 2,01 | 0,06 | 99,71 |
| | 47,06 | 32,81 | 0,75 | 16,55 | 2,20 | 0,07 | 99,44 |
| | 47,61 | 32,60 | 0,66 | 16,33 | 2,19 | 0,10 | 99,49 |
| | 47,87 | 33,18 | 0,74 | 16,59 | 2,03 | 0,07 | 100,50 |

Рис. 9. Фрагмент ИК-спектров в диапазоне 3000–4000 см⁻¹. Изменение положения пика в зависимости от содержания FeO



атах (лейкократовые габбро и оливинсодержащие габбро-долериты) понижено (рис. 10).

Достаточно чувкими индикаторами кристаллизационной дифференциации считаются отношения (Ca+Na+K)/Al и Si/Al, нормирующие состав плагиоклазов по алюминию [Рябов, 1984]. По данным [McKeown, 2005; Hecker, 2010; Theodosoglou, 2010], в минералах группы полевых шпатов изменения Al отражаются на изменении полос поглощения в интервале 400–650 см⁻¹. По Фурье ИК-спектрам выявлены изменения отношения Al к (K+Ca). Отмечена прямая корреляция между этим соотношением и изменением профиля спектра плагиоклазов в диапазоне 450–600 см⁻¹.

В зависимости от содержания анортитового компонента этот фрагмент спектра будет представлен либо как симметричный триплет с ярко выраженным пиком 575 см⁻¹ (рис. 11, образец № 210.4.1-1), либо как триплет, где увеличивается интенсивность каждого последующего пика (рис. 11, образец № 210.4.1-5). Каждый спектр в этом фрагменте был разложен и проинтегрирован. Отношение алюминия к сумме калия и кальция увеличивается с увеличением площади фигуры, ограниченной профилем и базовой нулевой линией (табл. 5).

Таблица 5

| Зависимость отношения Al/(K+Ca) от площади фигуры под пиками в интервале 400–650 см ⁻¹ | | | |
|---|----------|---------|---------|
| Образец | Интеграл | Площадь | Al/K+Ca |
| 210.4.1-1 | 7,08 | 0,03452 | 1,94 |
| 210.4.1-4 | 8,507 | 0,02382 | 1,95 |
| 210.4.1-5 | 11,03 | 0,04540 | 2,14 |
| 211.2.1-4 | 14,80 | 0,04814 | 2,41 |
| 211.2.1-5 | 16,55 | 0,05791 | 2,76 |

Заключение. В лейкократовых дифференциатах Хараелахской интрузии плагиоклаз содержится в количестве до 80% от объема породы; в оливинсодержащих и оливиновых габбро-долеритах оно составляет 45–60% от объема породы.

Пики ИК-спектров плагиоклазов варьируют как по горизонтали (изменение волновых чисел), так и по вертикали (интенсивность). При сопоставлении Фурье ИК-спектров и данных, выполненных по тем же образцам микрорентгеноспектральных исследований, удалось выявить корреляцию формы спектра с составом плагиоклаза. Увеличение площади фигуры, образованной ИК-спектром и базовой нулевой линией, прямо пропорционально увеличению анортитового компонента. Наиболее точный результат дает ИК-спектр, снятый в порошке. Плагиоклазы с большим количеством анортитовой составляющей имеют смещение спектров в сторону диапазона 1050–965 см⁻¹. На смещение графиков спектров также влияют вариации содержания примесей. Некоторые из них, например сера, могут сильно искажать спектральную картину, поэтому для сохранения возможности анализировать ИК-спектры необходимы образцы зерен, содержащих ее в количестве не более 0,5 вес.%.

Результатами Фурье ИК-спектроскопии подтверждены исследования плагиоклазов методом микрорентгеноспектрального анализа, проведенные ранее группой исследователей [Рябов, 1974; Рябов, 1984; Золотарев, Аплонов, 2014; Золотухин и др., 1975]. Изученное распределение элементов-примесей в плагиоклазах указывает на определенный геохимический признак условий образования рудоносных интрузивов и рудообразования. Наибольшее индикативное значение имеет изоморфная примесь Fe. Концентрация Fe в плагиоклазах габбро-долеритов составляет в среднем 0,67 масс.%. Макси-

в плагиоклазе выявлено в плагиоклазах пикритовых габбро-долеритов, по контуру распространения которых определяется морфология рудных тел. Таким образом, подтверждаются данные предыдущих исследований [Леснов, 1991; Наторхин и др., 1975]. Повышенная концентрация Fe в этих дифференциатах придает ему индикативное значение на оруденение.

Изучение химического состава и характера распределения примесей в порообразующих минералах методом ИК-спектроскопии позволяет осуществ-

лять разделение минеральных разновидностей без изучения физических и структурных особенностей в каждом из отобранных образцов и, таким образом, выявить их индикативные особенности, необходимые при прогнозировании оруденения и изучении закономерностей его размещения.

Совокупность данных можно использовать для выявления закономерностей формирования минеральных ассоциаций в геологических объектах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Анастасенко Г.Ф. Распределение бора в породах и минералах трапповой формации северо-запада Сибирской платформы // *Геохимия*. 1973. № 10. С. 1481–1489.

Белянкин Д.С. О научных предрассудках и о железе в полевых шпатах // *Белянкин Д.С. Избр. тр. Т. 2. М.: Изд. АН СССР*. 1958. С. 57–59.

Геология Норильской металлогенической провинции / Под ред. И.И. Никулина. М.: МАКС Пресс, 2020. 524 с.

Годлевский М.Н. Траппы и рудоносные интрузии Норильского района. М.: Госгеолгиздат, 1959. 89 с.

Додин Д.А., Батуев Б.Н. Геология и петрология Талнахских дифференцированных интрузий и их метаморфического ореола // *Петрология и рудоносность Талнахской и Норильской дифференцированных интрузий*. Л.: Недра, 1971 (Тр. НИИГА. т. 167).

Золотарев А.А., Аглонов В.С. Особенности химического состава плагиоклазов в горных породах Талнахского рудного узла (северо-запад Сибирской платформы) // *Вестн. СПбГУ. Сер. 7*. 2014. Вып. 3. С. 25–30.

Золотухин В.В., Виленский А.М., Дюжиков О.А. Базальты Сибирской платформы. Новосибирск: Наука, 1986. 245 с.

Золотухин В.В., Рябов В.В., Васильев Ю.Р., Шатков В.А. Петрология Талнахской рудоносной дифференцированной трапповой интрузии. Новосибирск: Наука, 1975. 320 с.

Иванов М.К., Иванова Т.К., Шатков В.А. и др. Структурно-формационные и физико-химические условия формирования месторождений Норильского плато в связи с поисками богатых руд. СПб.: Фонды ВНИИОкеангеология, 1973.

Леснов Ф.П. Плагиоклазы полигенных базит-гипербазитовых плутонов. Новосибирск: Наука, 1991. 110 с.

Льюльо В.А., Нестеровский В.С., Говердовская Т.Г. Магматогенные брекчии никеленосных трапповых интрузий // *Медно-никелевые руды Талнахского рудного узла*. Л., 1972. С. 123–127.

Наторхин И.А., Архипова А.И., Батуев Б.Н. Петрология Талнахских интрузий. Л.: Недра, 1977. 236 с.

Радько В.А. Фации интрузивного и эффузивного магматизма Норильского района. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. 226 с.

Рябов В.В. Плагиоклазы и клинопироксены расслоенных трапповых интрузий, как индикаторы дифференциации магматического расплава // *Докл. АН СССР*. 1974. Т. 219, № 1. С. 197.

Рябов В.В. О составе верхних контактовых зон норильских интрузий, несущих богатую хромитовую минерализацию // *Критерии рудоносности магматических комплексов*. Новосибирск: ИГиГ, 1984. С. 124–142.

Рябов В.В., Золотухин В.В. Минералы дифференцированных траппов. Т. 1. Новосибирск: Нонпарель, 1999. 408 с.

Рябов В.В., Шевко А.Я., Гора М.П. Магматические образования Норильского района // *Петрология траппов*. Т. 1. Новосибирск: Нонпарель, 2001. 408 с.

Смирнов М.Ф. Строение норильских никеленосных интрузий и генетические типы их сульфидных руд. М.: Недра, 1966.

Соболев А.В., Криволуцкая Н.А., Кузьмин Д.В. Петрология родоначальных расплавов и мантийных источников магм Сибирской трапповой провинции // *Петрология*. 2009. Т. 17, № 3. С. 276–310.

Топоминералогическое картирование интрузий Норильского района по данным инфракрасной спектроскопии: Метод. пособие / Под общ. ред. В.И. Старостина. М.: ВНИИ- геосистем, 2020. 108 с.

Corlett M., Ribbe P.H. Electron probe microanalysis of minor elements in plagioclase feldspars // *Schweiz. Miner. Und Petrogr. Mitt.* 1967. Bd 47, H1. S. 333–350.

Hecker C., Meidje M., Meer F.D. Thermal infrared spectroscopy on feldspars — Successes, limitations and their implications for remote sensing // *Earth. Sci. Rev.* 2010. Vol. 103. P. 60–70.

Matteson A., Herron M. End-member feldspar concentrations determined by FTIR Spectral analysis // *J. Sediment. Petrol.* 1993. Vol. 63, № 6. P. 1144–1148.

McKeown D.A. Raman spectroscopy and vibrational analyses of albite: From 25 °C through the melting temperature // *Amer. Mineral.* 2005. Vol. 90. P. 1506–1517.

Theodosoglou E., Koroneos A., Soldatos T. et al. Infrared and X-Ray powder diffraction analysis of naturally occurred k-feldspars // *Bull. Geol. Soc. of Greece*. 2010. Vol. XLIII, N 5. P. 2752.

Статья поступила в редакцию 20.10.2021;
одобрена после рецензирования 26.10.2021;
принята к публикации 28.04.2022.